



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Antti Ylä-Mononen

ROBOTISOINNIN ESISUUNNITTELU

NORDEC Oy

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Antti Ylä-Mononen
Opinnäytetyön nimi	Robotisoinnin esisuunnittelu
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	40
Ohjaaja	Mika Billing

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tutkimus asioista, mitä tarvitsee ottaa huomioon robottijärjestelmän suunnittelussa ja hankinnassa. Työ tehtiin NORDEC Oy:n Peräseinäjoen toimipisteelle.

Tutkimuksen teoriakehyksessä käsitellään aluksi perustietoa robotiikasta ja hitsausroboteista. Perustietojen jälkeen kerrotaan robottijärjestelmän suunnittelun eri vaiheista, koulutuksista, uhista ja mahdollisuuksista. Seuraavaksi esitellään erilaiset robottijärjestelmien hankintamenetelmät ja kannattavuus. Opinnäytetyön lopussa on esimerkkitapaus robottijärjestelmän hankinnan etenemisestä ja loppupäätelmät. Tutkimuksessa käytettiin apuna erilaisia verkkolähteitä sekä kirjallisuutta.

Työn lopputuloksena on tietopaketti robotiikasta ja robottijärjestelmän hankinnasta. Keskeisimpänä tavoitteena on tuoda lukijalle ymmärrystä ja tietoja robottijärjestelmistä, joiden avulla robotin hankinta olisi helpompaa.

ABSTRACT

Author	Antti Ylä-Mononen
Title	Pre-design of Robotics
Year	2020
Language	Finnish
Pages	40
Name of Supervisor	Mika Billing

The subject of this thesis was to do research about things to be considered in designing and purchasing the first industrial robot system. This thesis was made for NORDEC Oy plant in Peräseinäjoki.

This thesis was made keeping in mind that the reader does not have much information about robot systems. The research was made by using own knowledge gained on automation and robot courses. Various literature and internet sources on robotics were also used to gather information.

The result of this thesis is an information package of robotics and robot system purchase. The main aim is to obtain the reader with an understanding and knowledge of robotic systems that would make it easier to purchase a robot.

Keywords	Robotics, automation and purchasing
----------	-------------------------------------

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO JA YRITYSESITTELY	7
1.1	Johdanto.....	7
1.2	Yritysesittely	7
2	ROBOTIT	8
2.1	Yleistä.....	8
2.2	Yleisimmät robottityypit	9
2.3	Robotin ohjelmointi.....	12
2.3.1	Johdattamalla	13
2.3.2	Opettamalla	13
2.3.3	Etäohjelmointi	14
3	HITSAUSROBOTIT	15
3.1	Yleistä.....	15
3.2	Hitsausrobottisolun osat	15
3.3	Yleisimmät hitsausmenetelmät robotilla	17
3.4	Railon seuranta.....	19
4	ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	22
4.1	Alkutilanteen ja automatisoinnin perusteiden selvitys.....	22
4.2	Tarpeenmukaisen robotin ja oheislaitteiden valinta.....	23
4.3	Vaadittavien turvalaitteiden määrittely	25
4.4	Layoutin suunnittelu ja simulointi	28
4.5	Koulutukset.....	30
4.6	Robotisoinnin uhat ja mahdollisuudet.....	31
5	ROBOTTISOLUN HANKINTA JA KANNATTAVUUS	33
5.1	Avaimet käteen- periaate	33
5.2	Laitteiden itse hankinta ja muilla asennutus	34
5.3	Laitteiden itse hankinta ja asentaminen.....	34
5.4	Kannattavuus	34

6	MATERIAALIN JATKOHITSAUS.....	36
6.1	Valmistelu.....	36
6.2	Suunnittelu.....	37
6.3	Integrointi	38
6.4	Käyttö	39
7	YHTEENVETO	40
	LÄHTEET	41

LIITTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Robotin koordinaatistot.	9
Kuva 2. Robotin liikeohjauksen suoritus ja yhden nivelen paikkasäätö.	9
Kuva 3. Yaskawan valmistama portaali robotti hitsaukseen.	10
Kuva 4. FANUC SCARA Robot SR-3iA.	10
Kuva 5. FANUC M-2000iA/2300.	11
Kuva 6. ABB IRB 360 FlexPicker.	12
Kuva 7. Robotin ohjelman rakenne.	13
Kuva 8. Hitsausrobottisolun osat.	16
Kuva 9. MIG-hitsaus robotilla.	17
Kuva 10. Automatisoitu TIG-hitsaus menetelmä.	18
Kuva 11. Pistehitsauslinjasto autotehtaalla.	19
Kuva 12. Optisen anturin toimintaperiaate.	20
Kuva 13. KUKA KR 5-2 Arc HW.	24
Kuva 14. Solun turvalaitteet	25
Kuva 15. Merkkivalotorni punaisella, oranssilla, vihreällä ja sinisellä värillä.	26
Kuva 16. Valoverho.	27
Kuva 17. HOKUYO UAM-05 turvalaserskannerin toiminta-alue.	28
Kuva 18. Robottijärjestelmä-projektin kustannusrakenne.	35
Kuva 19. Automatisointiprojektin vaiheet.	36
Taulukko 1. Simulointitekniikat	29

1 JOHDANTO JA YRITYSESITTELY

1.1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin NORDEC Oy:n Peräseinäjoen toimipisteelle. Alun perin toimeksiantajan ideana oli tehdä tutkimusta siitä, minkälaista robottia ja hitsauslaitteisto voisi käyttää materiaalin jatkohitsauksessa, mutta koska kyseessä on yrityksen ensimmäinen robotti, päätettiin työssä keskittyä enemmän asioihin, joita robottijärjestelmän suunnittelu ja hankinta vaatii. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuoda lukijalle ymmärrystä robottijärjestelmistä ja tätä myötä auttaa järjestelmien hankinnassa. Työssä käsitellään robotiikkaa yleisesti, hitsausrobotiikkaa, robottijärjestelmän suunnittelua ja hankintaa ja lopuksi esimerkki, miten materiaalin jatkohitsauksen automatisointi voisi edetä.

1.2 Yritysesittely

NORDEC Oy on yritys, joka suunnittelee, valmistaa ja asentaa runkorakenteita yli 80 vuoden kokemuksella. NORDEC Oy syntyi kun, saksalaisen Mutares-sijoitusyhtiön omistama Donges Group osti Ruukki Constructionin Building Systems -liiketoiminnan ja Normek Oy:n. Donges Group työllistää noin 1 250 työntekijää 14 eri maassa. Nordec Oy:n tuotteisiin kuuluu teräsrungot, putket, pilarit, ristikot ja siltarakenteet. Tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa Ylivieskassa, Peräseinäjoella, Puolassa Oboringissa ja pääkonttori sijaitsee Helsingissä. /1, 2/

NORDEC Oy:n Peräseinäjoen toimintapiste on erikoistunut teräsristikoiden, pilareiden ja palkkien valmistukseen. Tuotantomenetelmiin kuuluu sinkopuhallus, leikkaus, poraus, hitsaus ja pintakäsittelyt. Vuotuinen tuotantokapasiteetti on 6 000 tonnia kahdessa vuorossa. /1/

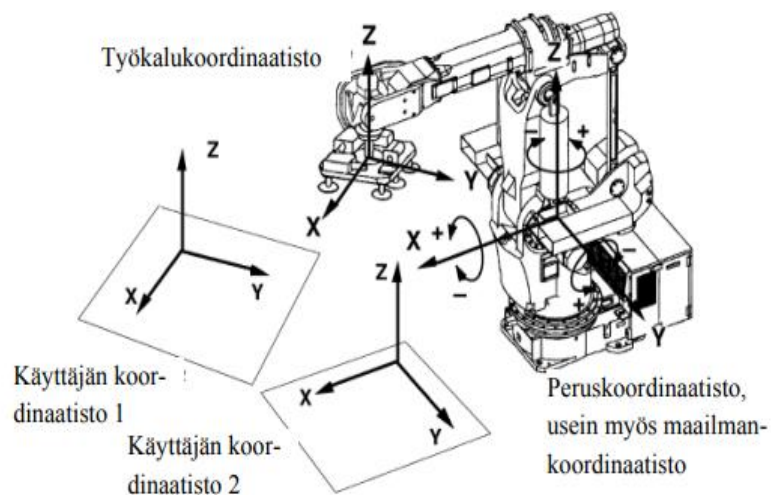
2 ROBOTIT

2.1 Yleistä

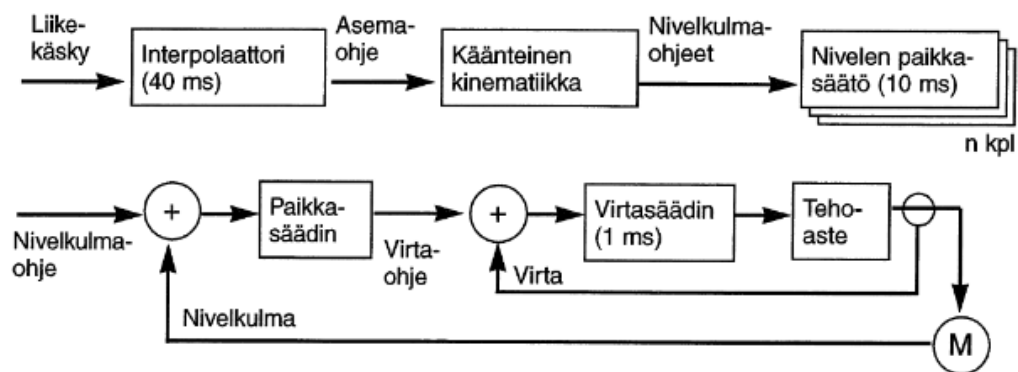
Robotit ovat nykypäivänä tärkeässä roolissa teollisuudessa. Ensimmäiset teollisuusrobotit syntyivät 1960-luvulla ja siitä lähtien niitä on kehitetty jatkuvasti erilaisiin käyttötarkoituksiin ja kehitys jatkuu vielä tänäkin päivänä. Yleisimpiä teollisuusrobottien käyttötarkoituksia ovat kappaleiden käsittely, hitsaus ja kokoonpano tehtävät. /3/

Kansainvälinen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitava, vähintään kolme nivelinen laite, jolla voidaan liikutella osia, kappaleita, työkaluja tai erikoislaitteita erilaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Teollisuusrobotti on myös määritelty standardissa SFS-EN ISO 10218-1 seuraavasti: ” Teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva”. Standardin mukaan teollisuusrobottiin kuuluu myös käsittelylaite, ohjauslaite ja mahdolliset yhdistetyt lisäakselit. /3, 4/

Yksinkertaistettuna robotin tarkoituksena on liikuttaa sen työkalulaippaan liitettyä työkalua haluttuun pisteeseen. Tämän liikkeen aikaansaamiseksi robotissa on erilaisia antureita, moottoreita, liikevarsia ja niveliä. Moottoreita ohjataan ohjausjärjestelmän avulla ja antureista saadaan tietoa takaisinkytkennällä missä asennossa nivelet ovat. Robotin liikeradat määritellään peräkkäisten liikekäskyjen avulla, jotka sisältävät haluttujen pisteiden koordinaatit valitussa koordinaatistossa. Robotin koordinaatistoja ovat peruskoordinaatisto, maailmakoordinaatisto, työkalukoordinaatisto ja käyttäjän koordinaatistot. Nämä näkyvät kuvassa 1. Kun robotin ohjain huomaa uuden liikekäskyn ohjelmassa, se käynnistää interpolaattorin, joka laskee työkalun nykyisen pisteen ja uuden pisteen välille vaadittavan määrän välipisteitä halutun radan toteuttamiseksi. Kuvassa 2 nähdään liikeohjauksen periaate liikekäskystä robotin paikoitukseen. /3/



Kuva 1. Robotin koordinaatistot.

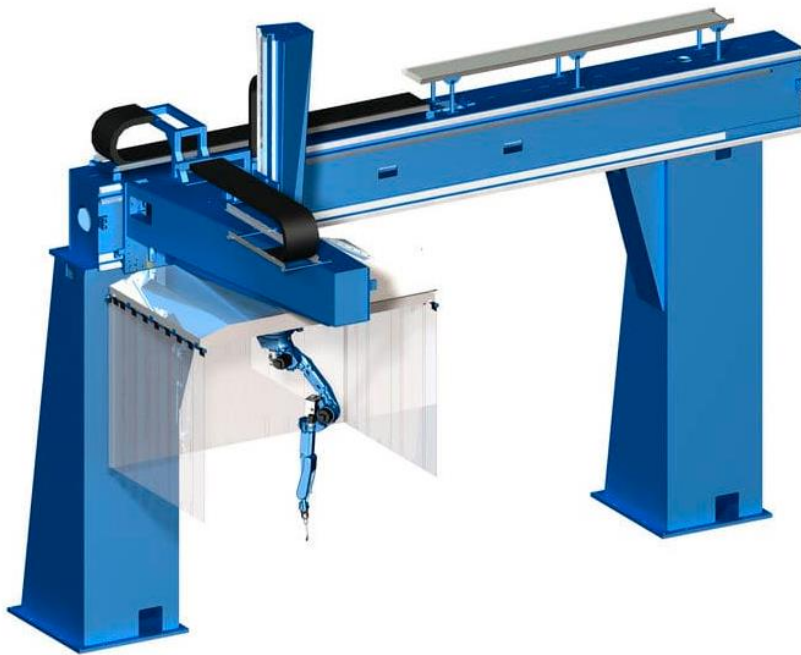


Kuva 2. Robotin liikeohjauksen suoritus ja yhden nivelen paikkasäätö.

2.2 Yleisimmät robottityypit

Robotit voidaan jaotella eri osioihin niiden perusrakenteen mukaan. Yleisimpiä näistä ovat suorakulmainen robotti, scara-robotti, kiertyvänivellinen robotti ja rinnakkaisrakenteinen robotti.

Suorakulmaisia robotteja kutsutaan myös karteesisiksi robotiksi ja portaalirobotiksi. Tämän tyyppisellä robotilla on yleensä kolme lineaarista akselia ja se käyttää karteesisista koordinaatistoa (X, Y, Z). Portaaliroboteihin voidaan myös asentaa ranne, joka mahdollistaa kiertyvän liikkeen. Kuvassa 3 nähdään hitsaukseen tarkoitettu portaalirobotti. /3, 5/



Kuva 3. Yaskawan valmistama portaalirobotti hitsaukseen.

Scara on lyhenne englanninkielisistä sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm. Scara-robotteja käytetään yleisimmin kokoonpano- ja ”pick and place”-tehtävissä. Tällä robottityypillä on yleensä neljä vain vapausastetta. Siinä on kolme kiertyvää niveltä ja yksi pystysuuntainen lineaariakseli, jotka mahdollistavat liikkeen työtasolla. Kuvassa 4 nähdään Fanucin valmistama SCARA-robotti. /3/



Kuva 4. Fanuc SCARA Robot SR-3iA.

Kiertyväniveliset robotit ovat yleisimmin teollisuudessa käytettyjä robotteja. Näissä roboteissa kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. Kiertyvänivelisiä robotteja on yksinkertaisista kaksinivelisistä jopa 10:een tai useampinivelisiin malleihin. Jokainen nivel tarjoaa joko vapausasteen tai liikealueen. Yleisimpiä teollisuudessa käytettyjä malleja ovat 4- ja 6-vapausasteiset mallit. Kiertyvänivelisten robottien käsittelykyvyt vaihtelevat 1–2 500 kg välillä ja ulottuvuudet 0.5 m –5 m. Kuvassa 5 nähdään FANUC:n valmistama raskaan sarjan robotti autoa nostamassa. Tämän robotin käsittelykyky on 2 300 kg. /5/



Kuva 5. FANUC M-2000iA/2300.

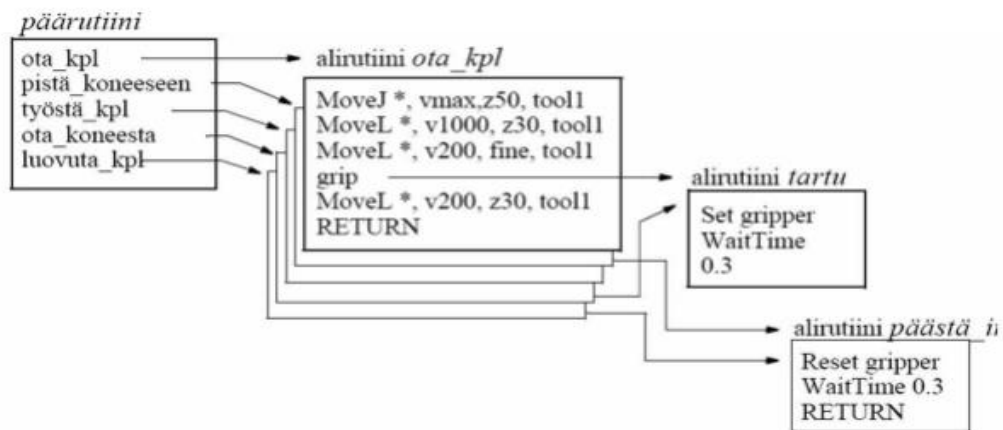
Rinnakkaisrakenteisia robotteja käytetään yleensä ”pick and place” -tyylisissä tehtävissä elintarvike-, elektroniikka- ja lääketeollisuudessa. Tämä robottityyppi eroaa muista roboteista sen mekaanisen rakenteen vuoksi. Rinnakkaisrakenteisessa robotissa sen liikeakselit ovat rinnakkain, joka tekee robotin rakenteesta jäykän, mutta myös työalue on suhteellisen pieni ja kupolin muotoinen. Rinnakkaisrakenteisen robotin rakenne näkyy kuvassa 6. /5/



Kuva 6. ABB IRB 360 FlexPicker.

2.3 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelma koostuu liikekäskyistä, input/output-komennoista, muuttujien käsittelystä ja ohjelman etenemiseen liittyvistä komennoista. Ohjelmassa jokainen käsky on omalla rivillään ja robotti suorittaa yhden komentorivin kerrallaan. Liikekäskyt koostuvat liiketavasta, paikoituspisteestä, nopeudesta ja tarkkuudesta. Input ja output signaalien avulla ohjataan muita laitteita ja saadaan tietoa muilta laitteilta. Robotin ohjelman selkeyden kannalta siinä on yleensä pääohjelma, jossa kutsutaan erilaisia aliohjelmia esimerkiksi haku, vienti, työstä jne. Kuvassa 7 näkyy esimerkki robotin ohjelman rakenteesta.



Kuva 7. Robotin ohjelman rakenne.

2.3.1 Johdattamalla

Robotin ohjelmointi johdattamalla oli ensimmäisiä ohjelmointityylejä, jolla robotti saatiin liikuttamaan työkaluaan jouhevia liikeratoja pitkin. Johdattamalla ohjelmoinnissa robotin nivelet vapautetaan ja robotti ohjataan lihasvoimin haluttuihin asentoihin ja paikat tallennetaan muistiin. Tämän ohjelmointityylin suurimpia ongelmia ovat ohjelman muuttamisen hankaluus (yleensä koko ohjelma tehdään uudestaan) ja ohjelmien tarkkuus. /3/

2.3.2 Opettamalla

Nykyään yleisin robotin ohjelmointityyli on opettamalla ohjelmointi. Opettamalla ohjelmoinnissa robotti ajetaan käsiohjaimen avulla haluttuun paikkaan ja asentoon, jonka jälkeen asema tallennetaan ohjaimen avulla. Tämän jälkeen robotti voidaan ajaa uuteen asemaan ja asentoon ja tallentaa samalla tavalla. Liikkuminen näiden asemien välillä voidaan määritellä esimerkiksi lineaariseksi tai kaarevaksi. Jokaisen aseman välinen nopeus voidaan myös määritellä. Näitä pisteitä tallennetaan ohjaimelle niin monta kuin ohjelma vaatii. Valmis ohjelma voidaan toistaa automaattiajolla täydellä nopeudella, jossa robotti käy läpi kaikki asemat ja käskyt, mitä ohjelmaan on tallennettu.

2.3.3 Etäohjelmointi

Etäohjelmoinnilla eli off-line-ohjelmoinnilla tarkoitetaan sitä, että robotti ohjelmoidaan ilman tuotantorobottia tuotannon ulkopuolella tietokoneen avulla. Etäohjelmoinnin suurimpia etuja ovat se, että robotin tuotantoa ei tarvitse keskeyttää ohjelmoinnin ajaksi, jolloin ei tule tuotantoseisokkeja ja voidaan tarkastaa robotin soveltuvuus tehtäviin ilman prototyyppettä. Etäohjelmointi suoritetaan apuna käyttäen 3D-graafista käyttöliittymää, robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja ja valmistettavan tuotteen 3D-mallia. Monella robottivalmistajalla on oma off-line-ohjelmisto kuten ABB:llä on RobotStudio, Yaskawalla Motosim EG-VRC ja Fanucilla FANUC ROBOGUIDE. /3/

3 HITS AUSROBOTIT

3.1 Yleistä

Ensimmäisiä teollisuuteen esiteltyjä robottisovelluksia olivat hitsausrobotit. Vuonna 1962 teollisuudessa otettiin käyttöön ensimmäinen hitsausrobotti General Motorsin tehtaalla, joka suoritti pistehitsaustehtävää kokoonpanolinjalla. Vasta 1980-luvulla hitsausrobotit alkoivat saada suosiota varsinkin autoteollisuuden parissa. Tämän takia kiinnostus robottihitsaukseen heräsi muillakin teollisuuden aloilla, kuten metalliteollisuudessa, ja hitsauksen automatisointi alkoi kehittyä nopeasti. /6/

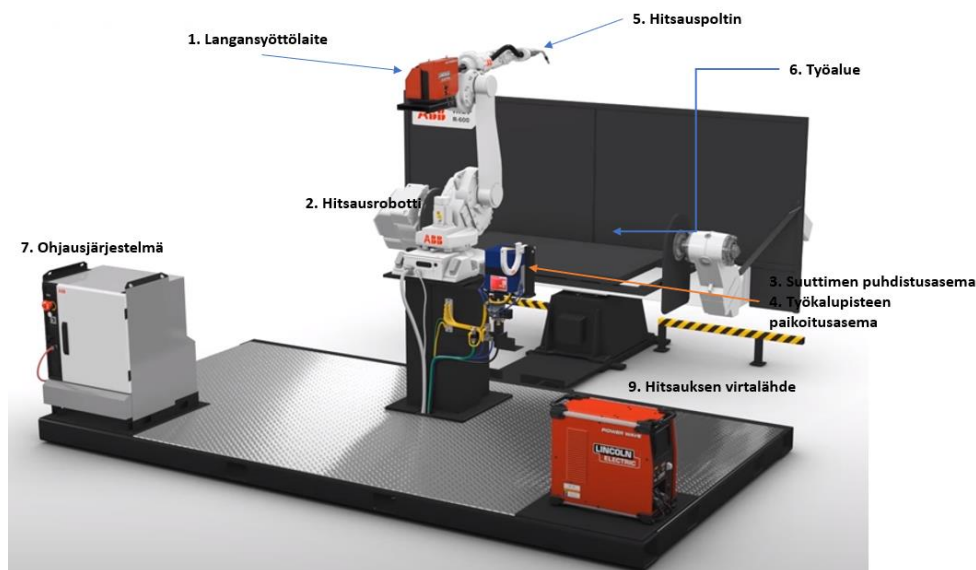
Nykypäivänä robottihitsausta hyödynnetään monilla eri aloilla sen tuoman etujen vuoksi. Suurimpia etuja robottihitsauksessa ovat tasainen ja luotettava laatu, hitsausaikojen pienentyminen (robotti voi olla jopa 3 kertaa nopeampi hitsaamaan kuin ihminen), turvallisuuden paraneminen (robotti ei välitä hitsauksessa muodostuvista kaasuista eikä työasennoista), kustannusten pienentyminen (ei tule liikaa hitsiä eli hitsaustarvikkeiden määrä pienenee, vähemmän ns. susikappaleita) ja työvoiman jakaminen (kokeneiden hitsareiden puutteessa, robotti voidaan laittaa yksinkertaisiin hitsaustehtäviin, kun kokeneet hitsaajat voivat taas hoitaa monimutkaisemmat tehtävät). /6,7/

3.2 Hitsausrobottisolun osat

Robottihitsausyksikkö koostuu monista eri komponenteista, joiden avulla kappaleita hitsataan. Komponentit ovat näkyvillä kuvassa 8. Yksikköön kuuluu seuraavia komponentteja:

1. **Langansyöttölaite:** Syöttää täytelankaa robotille ohjelmoidulla syöttönopeudella.
2. **Hitsausrobotti:** Robotti liikuttaa hitsauspoltinta ohjelmoidulla tavalla. Hitsausrobotit ovat yleensä 6-akselisia kiertyvänivelisiä robotteja.
3. **Suuttimen puhdistusasema:** Puhdistusasemassa polttimesta poistetaan hitsausroiskeet työkiertojen välissä.

4. **Työkalupisteen paikoitusasema:** Paikoitusasemassa työkalupiste kalibroidaan työkiertojen välissä.
5. **Hitsauspoltin:** Käyttää elektrodiin tulevaa virtaa metallien lämmittämiseen ja yhdistämiseen.
6. **Työalue:** Työalueelle asetetaan hitsattavat kappaleet robotin hitsattavaksi.
7. **Ohjausjärjestelmä:** Käytännössä robotin aivot. Tuottaa robotille tarvittavan voiman ja ohjaa robotin toimintaa tallennetuilla ohjelmilla
8. **Käsiohjain:** Tämän avulla robotin käyttäjä voi liikutella robottia ja tehdä uusia ohjelmia
9. **Hitsauksen virtalähde:** Tuottaa virran hitsauspolttimelle.
10. **Ohjauspaneeli:** Paneelissa on yleisimmät painikkeet robotin käyttöön esimerkiksi työkierron käynnistys, keskeytys, resetointi ja hätäseis-painike.
11. **Turvallisuuslaitteet:** Yleisimmin turva-aitoja, valoverhoja ja hitsausverhoja.



Kuva 8. Hitsausrobottisolun osat.

Ohjelmat tallennetaan ohjausjärjestelmään käsiohjaimen avulla. Robotti liikuttaa ja käyttää hitsauspoltinta ohjelmien käskyjen mukaisesti. Virtasuutin lämpenee virtalähteeltä saamansa virran ansiosta ja tuottaa tarpeeksi lämpöä metallien su-lauttamista varten. Langansyöttöjärjestelmä syöttää täytelankaa robotin käsivartta

pitkin polttimelle ja siitä liitoskohtaan. Työkiertojen välissä robotti vie polttimen puhdistusasemaan hitsausroiskeiden poistamista varten. /8/

3.3 Yleisimmät hitsausmenetelmät robotilla

Robottihitsaus on yksi yleisimmistä teollisuuden robottisovelluksista varsinkin autoteollisuuden parissa. Yleisimpiä robotisoitavia hitsausmenetelmiä ovat MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus ja pistehitsaus. Muita automatisoitavia hitsausmenetelmiä ovat plasmahitsaus, laserhitsaus, vastushitsaus, kaarijuotto ja hybridi-hitsaus. /9/

MIG-hitsaus (metal inert gas welding) ja MAG-hitsaus (metal active gas welding) ovat kaksi yleisintä robotisoitavaa menetelmää niiden yksinkertaisuuden takia. Näitä menetelmiä voidaan käyttää missä tahansa asennossa, jonka ansioista ne soveltuvat robotisoitavaksi hyvin. Suurin osa kaarihitsausroboteista käyttävät MIG- ja MAG-hitsausta. Kuvassa 9 nähdään robotisoitu MIG-hitsaus. /10/



Kuva 9. MIG-hitsaus robotilla.

TIG-hitsausta (tungsten inert gas welding) käytetään yleensä korkealaatuisissa ja tarkkuutta vaativissa hitsausprosesseissa ja se on hitaampaa verrattuna MIG-

hitsaukseen. Lisäainetta ei välttämättä tarvita TIG-hitsauksessa, jonka ansiosta se soveltuu hyvin myös robotilla tehtäväksi. Yleisimpiä TIG-hitsauksen käyttökohteita ovat putket ja putkistot. Kuvassa 10 esitellään automatisoitu TIG-hitsausmenetelmä. /11/



Kuva 10. Automatisoitu TIG-hitsausmenetelmä.

Pistehitsaus on vastushitsausprosessi, jossa liitettävät kappaleet puristetaan yhteen sähköä johtavilla elektrodeilla ja elektrodeihin johdetaan virtaa, jonka ansiosta kappaleet lämpenevät ja sulavat yhteen. Pistehitsaus on yksinkertainen ja nopea menetelmä, jonka ansiosta se soveltuu hyvin robotin tehtäväksi. Haittapuolena on se, että robottien kantokyky pitää olla kohtalaisen suuri pistehitsaus työkalun takia. Tätä menetelmää käytetään yleensä ohutlevyjen yhdistämisessä ja se on suuressa suosiossa autoteollisuudessa, kuva 11. /12/



Kuva 11. Pistehitsauslinjasto autotehtaalla.

3.4 Railon seuranta

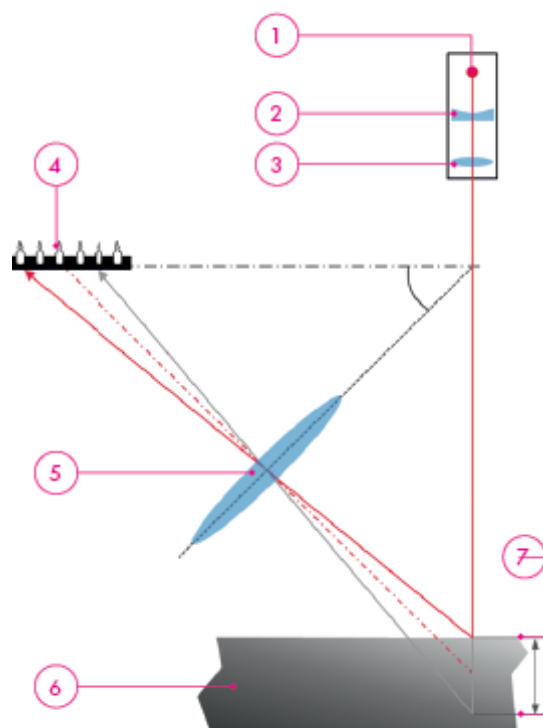
Yhä useammin nykypäivän hitsausrobotteihin lisätään railonetsintä- ja railonseurantajärjestelmiä, jotka auttavat korjaamaan ympäristöstä ja robotista aiheutuvia epätarkkuuksia hitsausprosessissa. Railonetsintä suoritetaan ennen hitsausta joko kosketustunnistuksella tai optisilla antureilla. Railonseuranta tapahtuu hitsauksen aikana seuraamalla hitsausvirtaa ja -jännitettä tai laseriin pohjautuvilla järjestelmillä. /3, 13/

Railonseurantajärjestelmän on tarkoitus paikoittaa hitsausrailoa reaaliajassa hitsauksen yhteydessä. Sen avulla saadaan parempilaatuisia hitsejä, hitsauspolut ovat optimaalisempia ja ennen kaikkea se voi jopa helpottaa ohjelmointia, koska robotia ohjataan railonseurantajärjestelmän avulla. /13/

Yksinkertaisin railonseurantajärjestelmä vaaputtavalle kaarihitsaukselle on TAST-järjestelmä (Through Arc Seam Tracking). Tässä järjestelmässä hitsin virtalähteeseen liitetään anturi, joka mittaa aktiivisesti esimerkiksi hitsausvirtaa- ja

jännitettä. Näiden tietojen avulla ennalta kirjoitetut ohjelmat ja erilaiset algoritmit korjaavat robotille ohjelmoitua polkua todellisen hitsausrailon mukaan. Tässä järjestelmässä hitsausnopeus on yleensä rajoitettu 127 cm/min. /14/

Laseriin pohjautuvat railonseurantajärjestelmät ovat tarkempia ja niitä voidaan käyttää railon etsintään, mutta myös huomattavasti kalliimpia ja monimutkaisempia, kuin TAST-järjestelmä. Laserjärjestelmät ovat myös jopa 2 kertaa nopeampia verrattuna TAST-järjestelmiin. Nämä järjestelmät vaativat aina erillisen anturin, joka liitetään lähelle hitsauspoltinta ja se saattaa aiheuttaa vaikeuksia ahtaissa paikoissa. Laserjärjestelmän etuja TAST-järjestelmiin ovat soveltuvuus useammalle eri hitsausmenetelmälle, se on riippumaton hitsausparametreista, soveltuu useammille eri railotyypeille ja se on nopeampi. Yksinkertaistettuna järjestelmän toiminta on se, että lasersäde lähtee valonlähteestä, säde osuu pintaan ja heijastuu siitä takaisin anturiin. Kun järjestelmä tietää laserin lähteen ja anturin etäisyyden, se voi laskea railon muodon ja paikan. Anturin periaate on esitelty kuvassa 12. /14, 15, 16/



Kuva 12. Optisen anturin toimintaperiaate.

1. Laser-diodi
2. Kollimaattorilinssi
3. Projisointilinssi
4. Valonilmaisin
5. Vastaanottimen linssi
6. Seurattava kappale
7. Mitta 1, mitta 2.

4 ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

4.1 Alkutilanteen ja automatisoinnin perusteiden selvitys

Robottijärjestelmän suunnittelu on tärkeää aloittaa aina robotisoitavan prosessin määrittelyllä, lähtötilanteen analysoinnilla ja automatisoinnin perusteiden selvityksellä. Kun nämä lähtötiedot ovat selvillä, on helpompi aloittaa vaadittavien laitteiden valinta ja tutkimukset robotin hankinnan kannattavuudelle.

Prosessin määrittely vaikuttaa oleellisesti siihen minkä tyyppinen robotti valitaan. Erityyppiset robotit soveltuvat erilaisiin tehtäviin esimerkiksi SCARA-robotit soveltuvat parhaiten nopeaan vaakasuuntaiseen kappaleiden siirtelyyn ja yksin ker-taisiin asennustehtäviin, kun taas kiertyvänivelisillä roboteilla voidaan suorittaa monimutkaisempia asennustehtäviä, hitsausta, raskaiden kappaleiden siirtelyä ja monia muita tehtäviä. Prosessia määriteltäessä on hyvä myös miettiä voisiko, samaa robottia käyttää myös muissa tehtävissä.

Robotisoitavan prosessin tarkka lähtötilanteen analysointi on tärkeää projektin onnistumisen kannalta. Seuraavat asiat ovat selvitettävä robottijärjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa: kappaleiden tila, kappaleiden siirrot, oheislaitteiden sijoittelu, työvaiheiden looginen eteneminen, liittymät muuhun työympäristöön, miehitys ja ympäristöolosuhteet. On hyvä myös selvittää, kuinka kauan tämänhetkisellä menetelmällä prosessiin kuluu aikaa, työvoimaa ja kuinka paljon siitä seuraa kustannuksia. /3/

Yleisimpiä robotisoitavia tehtäviä ovat yksinkertaiset, erittäin paljon toistuvat ja vaaralliset tehtävät. Tämän kaltaiset tehtävät eivät ole kovinkaan mielekkäitä ihmiselle, jotenka ne ovat hyviä perusteita automatisoinnille. Nykypäivänä tietyillä aloilla on työvoimapulaa, kuten taitavista hitsareista, jolloin robotti voi olla oikea ratkaisu tähän ongelmaan. Esimerkiksi robotti voidaan laittaa yksinkertaisiin hitsaustehtäviin, jonka ansiosta näistä vapautuvat hitsaajat voidaan ohjata haastavampiin töihin, joihin robotti ei sovellu. Muita hyviä perusteita robotisoinnille ovat tuotannon kapasiteetin lisääminen, tuottavuuden kasvu ja laadun paraneminen. /17/

4.2 Tarpeenmukaisen robotin ja oheislaitteiden valinta

Robottityypin valitsemisen lisäksi robotin valintaan kuuluu monia muitakin asioita. Näitä asioita ovat esimerkiksi hyötykuorma, ulottuvuus, akseleiden lukumäärä, toistotarkkuus ja robotin nopeus. Robotin hankinnassa on tärkeitä ottaa huomioon myös IP-luokitukset (Ingress Protection). IP-luokitus määrittelee, kuinka hyvin robotti on suunniteltu ja valmistettu pitämään epäpuhtaudet, kuten pölyn ja kosteuden, poissa tärkeiltä osilta. /18/

Robotin ulottuvuus ja hyötykuorma ovat ehkä tärkeimmät tekijät robotin valinnassa. Paras tapa tarkastella robotin ulottuvuutta on tehdä simulaatio robotisoitavasta työstä ja sen avulla testata robotin ulottuvuutta. Hyötykuormien tarkastelua varten robottivalmistajat ovat tehneet työkaluja ja ohjelmia, joiden avulla asiakkaat voivat laskea robotin laippaan kohdistuvia voimia. Hyötykuormia laskettaessa pitää ottaa huomioon käsiteltävän kappaleen paino, työkalun paino ja kappaleen etäisyys työkalun laipasta. Jos laskelmat jäävät vajaaksi, on olemassa riski, että hankittu robotti on liian heikko sille suunniteltuun tehtävään. Hyötykuormaa ei myöskään kannata ylimitoittaa, koska silloin saatetaan uhrata robotin nopeutta ja käyttökulut voivat nousta suurempien sähkömoottoreiden takia. /17, 18/

Jotkut tehtävät, kuten kaarihitsaus, vaatii kaapeloinnin robotin laippaan asti. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia tietyissä robotin työskentelyasennoissa. Ratkaisuksi tälle on kehitetty robottimalleja, joissa on ontto käsivarsi kaapelointia varten. Työkalulle vaadittavat kaapeloinnit vedetään onton käsivarren lävitse, jolloin kaapelit eivät rajoita robotin liikkeitä. Kuvassa 13 nähdään KUKA:n valmistama ontolla käsivarrella varustettu hitsausrobotti. /17, 18/



Kuva 13. KUKA KR 5-2 Arc HW.

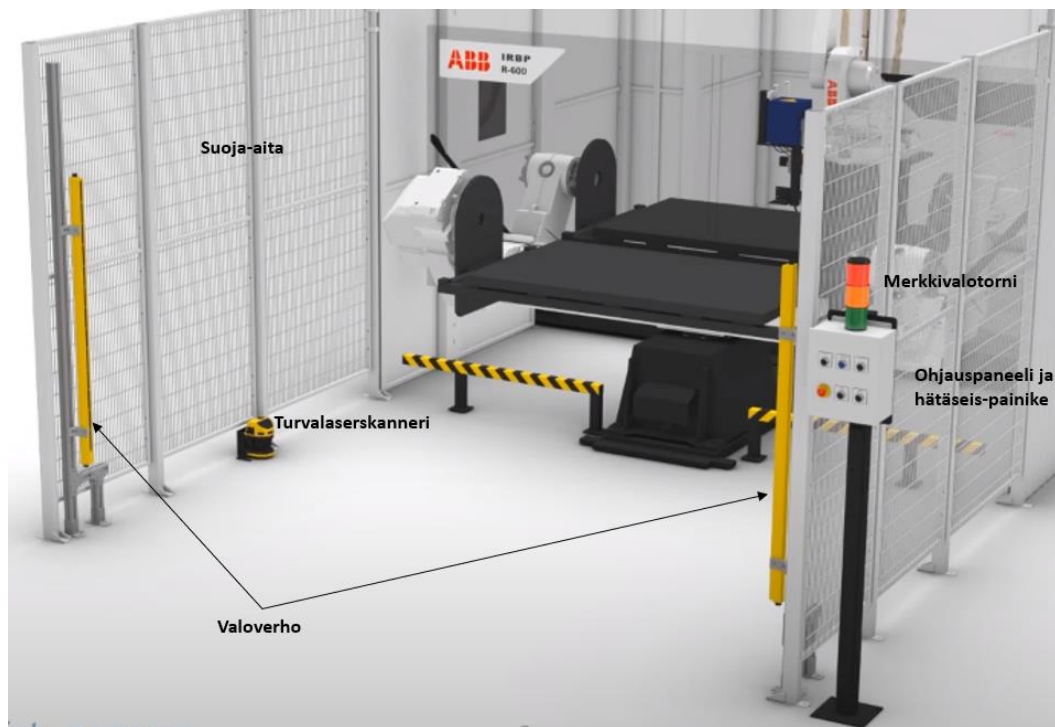
Yleisimpiä robotin oheislaitteita ovat erilaiset tarraimet, automaattiruuvaimet, hitsauslaitteet ym. työkalut, kääntöpöydät, syöttölaitteet ja kuljetin järjestelmät. Suurin osa robottijärjestelmistä on tapauskohtaisesti räätälöityjä, ja niihin liittyvät oheislaitteet vaihtelevat paljon. Oheislaitteiden valinnassa tärkeimpänä kriteerinä voidaan pitää käyttöluotettavuutta, koska robotin ollessa tuotannon avainkoneena käytettävyyden pitää olla maksimiluokkaa. Laitteiden valinta on hyvä aloittaa kartoittamalla käyttöolosuhteet oheislaitteita ajatellen. Selvitettäviä asioita ovat oheislaitteen vaadittu suorituskyky, laitteen paino ja mitat. Oheislaitteiden voimanlähteenä kannattaa ensisijaisesti suosia paineilmaa, toisena sähköä ja kolmanneksi hydraulikkaa. Oheislaitteiden liitettävyyden robotin ohjaimeen on erittäin oleellinen asia. Laitteen ohjaamista varten robotille on saatava tarvittavat takaisinkytkentäsignaalit ja oheislaitteelle pitää saada tarvittavat ohjaussignaalit. /3/

Robottijärjestelmille määrätyt turvallisuus- ja viranomaismääräykset koskevat myös oheislaitteita. Laitteet tulee olla ns. turvallisesti vikaantuvia eli vian ilmaantuminen käytön aikana ei aiheuta järjestelmän ulkopuolista vaaraa ihmiselle. Sähköllä toimivien oheislaitteiden kanssa tulee kiinnittää erityistä huomiota EMC-direktiiviin (Electro-magnetical compatibility). Kaikkien sähköllä toimivien

oheislaitteiden tulee täyttää sähkömagneettisen yhteensopivuuden vaatimukset häiriönpäästössä ja häiriönsiedossa. /3/

4.3 Vaadittavien turvalaitteiden määrittely

Robottijärjestelmän suunnittelussa on erityisen tärkeää ottaa lähtökohdaksi se, että robotista ei voi aiheutua vaaraa ihmisille. Robotit ovat nopeita ja voimakkaita ja huonon turvallisuussuunnittelun tuloksena ne voivat aiheuttaa vaaratilanteita ihmisille. Standardissa SFS-EN ISO 10218-2:2011 määritellään turvallisuusvaatimukset robottisolun tai -järjestelmän suunnittelussa, valmistuksessa, asennuksessa, käytössä, kunnossapidossa ja käytöstä poistossa. Kuvassa 14 esimerkki latausaseman turvalaitteista. /19/



Kuva 14. Solun turvalaitteet.

Yleisimmät robottijärjestelmän turvalaitteet liittyvät kulunvalvontaan. Kulunvalvontaan voidaan käyttää esimerkiksi suoja-aitoja, turvamattoja, valoverhoja ja laserskannereita. Turvalaitteisiin kuuluvat myös hätäseis-painikkeet. Standardin SFS-EN 60204-1 mukaan jokaisella koneen ohjauspaikalla tulee olla hätäseis-painike. Soluun voidaan myös lisätä merkkivalotorni, joka ilmoittaa solun tilan-

teen eri väristen valojen mukaan. Esimerkkejä merkkivalojen tarkoituksista: Punainen valo tarkoittaa äärimmäistä vaaraa, jolloin alueella ei saa liikkua, oranssi valo tarkoittaa sitä, että alueella on noudatettava varovaisuutta, vihreän valon palauksessa vaaraa ei ole ja sininen valo tarkoittaa, että portti on auki. Kuvassa 15 nähdään näillä valoilla varustettu torni. /3/

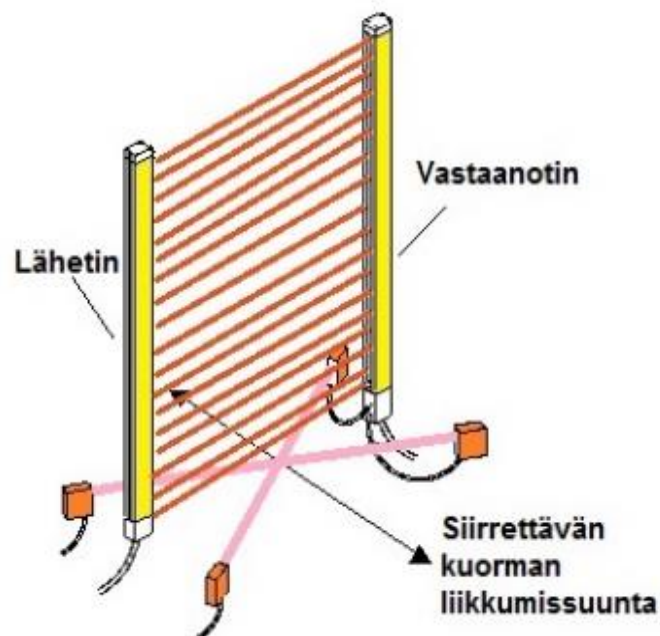


Kuva 15. Merkkivalotorni punaisella, oranssilla, vihreällä ja sinisellä värillä.

Suoja-aidat ovat perinteisin tapa estää ihmisten pääseminen robotin vaara-alueelle. Aidassa pitää olla valvotut kulkuaukot alueelle pääsemiseksi. Suojarakenteen korkeudet määritellään standardeissa. Yleisin korkeus suoja-aidoille on 2 100 mm, jolloin robotti voidaan sijoittaa aivan aidan viereen. Suoja-aidan korkeus riippuu sen etäisyydestä robottiin. Jos robotilla tehtävästä työstä aiheutuu esimerkiksi sinkoutuvia kappaleita tai hitsauksesta valokaari, niin suojarakenteet olisi hyvä olla aukottomia ja säteilyltä suojaavia. /3/

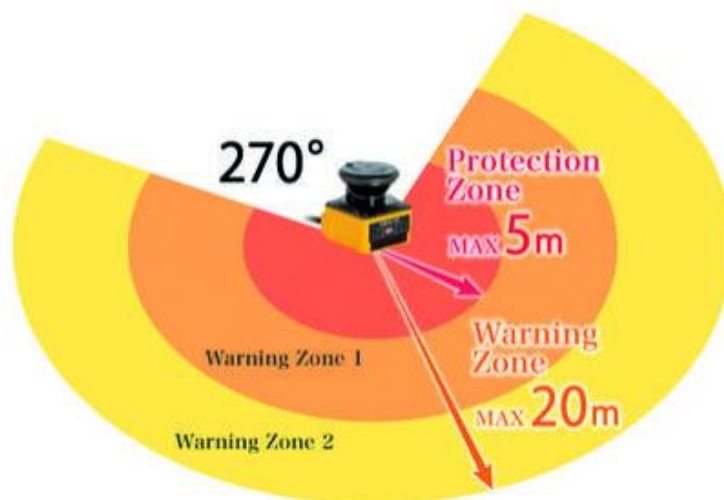
Valoverhoja ja laserskannereita käytetään yleensä robotin lastaus- ja purkuasemissa. Valoverhoissa on lähettäjä ja vastaanotin, jotka asetetaan vastakkain tietylle etäisyydelle toisistaan. Kun lähettäjä ja vastaanotin ovat toiminnassa, ne lähettävät näkymättömän säteen koko alueen yli ja antavat robotille signaalin siitä, että alue on kunnossa. Jos tähän lähettimen ja vastaanottimen väliselle alueelle tulee kat-

kos, robotti saa tiedon siitä ja se pysähtyy tai hidastaa nopeuttansa ohjelmoinnista riippuen. Kuvassa 16 nähdään perinteinen valoverho.



Kuva 16. Valoverho.

Turvalaserskannerit toimivat samalla periaatteella kuin valoverhot. Sen sijaan, että sinulla olisi yksi tietty alue, jolla säde siirtyy lähettimeltä vastaanottajalle, alueskanneri on pieni laite, joka voi skannata yksin suuremman alueen. Skannerit ovat myös ohjelmoitavia ja sen avulla voidaan skannattavaa aluetta rajata. Rajauksen avulla voidaan turva-alueesta poistaa esimerkiksi robotin lastaus ja purkualue. Skannereilla on mahdollista skannata jopa 270 asteen suuruinen lattia-alue ja alueen etäisyys voi olla useita kymmeniä metrejä laitteen mallista riippuen. Kuvassa 17 esitellään HOKUYO-merkkisen turvalaserskannerin toiminta-alue.



Kuva 17. HOKUYO UAM-05-turvalaserskannerin toiminta-alue.

4.4 Layoutin suunnittelu ja simulointi

Ensimmäinen askel toimivan robottisolun layoutin suunnittelussa on ymmärtää solun tila- ja materiaalivirtavaatimukset. Robottisolun sijoittaminen jo valmiiksi ahtaisiin tehtaisiin voi olla hankalaa, varsinkin kun pitää vielä ottaa huomioon käyttäjien pääsy solulle, trukkien ym. liikenne, materiaalin kuljetukset ja poistumistiet. Solun sijoittamiseen vaikuttavista rajoitteista ja kriteereistä on hyvä tehdä kartoitus, joka voi sisältää esimerkiksi raaka-aineiden toimitus pisteet, soluun syötettävän materiaalin paikka, trukkien liikkumisalueet, vältettävät rakenteelliset esteet, solun halutut kulkuaukot, olemassa olevien laitteiden sijainti, energian saantipaikat (sähkö, paineilma), kattorakenteen alapuolella oleva vapaa tila, palontorjunta, putkistot ja lattiakaivojen paikat ym. /21/

Solun sisäisen layoutin suunnittelu on hyvinkin yksinkertaista. Robotin ulottuvuus soluun asetettaville oheislaitteille on layoutin suunnittelun lähtökohtana. Robotin liikkumisen ja siitä aiheutuvan ajan kannalta on oleellista sijoittaa oheislaitteet siten, että ne ovat tiiviisti robotin ympärillä. Laitteiden sijoittelussa pitää myös

huomioida mahdolliset törmäysvaaraa aiheuttavat tekijät. Lisäksi suunnittelussa kannattaa myös huomioida mm. huollon ja puhdistuksen asettavat vaatimukset. /3, s. 93-94/

Kun kaikki layoutin vaatimukset ja rajoitteet ovat selvitetty, voidaan tehdä layout-suunnitelma mahdollisimman tehokkaasta ja ylläpidettävästä robottisolusta. Yleensä ensimmäisenä on hyvä tehdä 2D-malli layoutista. Kun 2D-malli on saatu viimeisimpään muotoonsa, voidaan tehdä päätös solun lopullisesta layoutista. Mekaanisten rakenteiden ja solun lopullisen layoutin suunnittelu kannattaa tehdä CAD-ohjelmia ja/tai 3D-simulointia käyttäen. Näistä malleista nähdään solun lopullinen muoto ja asettelut ja saadaan parempi käsitys todellisesta lopputuloksesta. /3, 21/

Simulointimalleja voidaan hyödyntää monella eri tavalla. Niiden avulla voidaan esimerkiksi esitellä solun toimintaa, tehdä tuotteen valmistettavuusanalyysyjä, käyttää apuna kiinnitinsuunnittelussa ja vertailla solujen sopivuutta tehtäviin. Simulointitekniikat voidaan jakaa eri ryhmiin, joita ovat ulottuvuussimulointi, prosessisimulointi ja dynaaminen simulointi. Ulottuvuussimuloinnissa robottisoluun mallinnetaan geometriset ja kinemaattiset ominaisuudet mahdollisimman tarkasti. Prosessisimuloinnissa tarvitaan ulottuvuussimuloinnin lisäksi tarkka malli robotin ohjaimen toiminnasta. Dynaamisessa simuloinnissa otetaan huomioon robottiin ja tuotantoprosessiin liittyvät voimat. Simulointien avulla saadaan myös robotin tehtäviä selville ja niiden avulla voidaan määritellä järjestelmän takaisinmaksuaika. Näiden simulointitekniikoiden vaatimukset ja tulokset ovat esitelty taulukossa 1. /3/

Taulukko 1. Simulointitekniikat.

TYYPPI	VAATIMUKSET	TULOKSET
Ulottuvuussimulointi	<ul style="list-style-type: none"> • Robotin kinemaattinen malli • Törmäystarkastelu, joka perustuu tuotteen ja solun geometriaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrian ulottuvuustarkastelu • Tuotteen ja robottisolun visualisointi • Kiinnittimen soveltuvuuden testaus

Prosessisimulointi	Edellisten lisäksi <ul style="list-style-type: none"> • Robotin ohjaimen malli • Tarkka liikesimulointi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ohjelman toimivuuden testaus • Etäohjelmointi • Karkea tahtiaika-analyysi • Valmistettavuuden varmistaminen
Dynaaminen simulointi	Edellisen lisäksi <ul style="list-style-type: none"> • Robotin ohjaimen tarkka malli • Kaikkien osien dynaamisten ominaisuuksien mallinnus 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarkkojen liikeratojen määrittäminen • Tarkka tahtiaika-analyysi • Erittäin nopeita prosessiliikkeitä sisältävän ohjelman etäohjelmointi

4.5 Koulutukset

Ensimmäistä robottia hankittaessa yritykseen on erityisen tärkeää kouluttaa henkilökuntaa robotille liittyviin tehtäviin. Koulutuksen osa-alueet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään peruskäyttäjäkoulutukseen, ohjelmoinnista vastaavien koulutukseen ja asiantuntijan koulutukseen. Näiden koulutusten tavoitteena on saada robottijärjestelmän käyttö mahdollisimman tehokkaaksi ja kokonaisvaltaisesti kannattavaksi. /3, s. 107/

Peruskäyttäjän koulutukseen kuuluu tavalliset, jokapäiväiseen tuotantoon liittyvät asiat. Näitä asioita ovat esimerkiksi robottijärjestelmän osat, käynnistäminen ja sammutus, järjestelmän hallintalaitteet (kuittauspainikkeet, turvajärjestelmän toiminta), robotin työkierron (tärkeää häiriötilanteiden selvittämisen kannalta), tavallisten käyttöhäiriöiden ratkaisu ja järjestelmän päivittäiset perushuollot esim. puhdistukset, nesteiden tarkistus ja lisäys, virtasuuttimen vaihdot (hitsaus) ja yleisen siisteyden ylläpitäminen. /3, s. 107/

Ohjelmoinnista vastaavien koulutuksessa käydään syvällisemmin itse robotin toimintaan liittyviä asioita. Ohjelman tekijät voivat toimia peruskäyttäjinä ja peruskäyttäjät voivat yhtä hyvin tehdä myös ohjelmia. Mitään todellista rajaa rooleilla ei varsinaisesti ole. Ohjelmoinnista vastaavien koulutukseen kuuluu robotin peruskäyttö, järjestelmän laitteiden toiminta (miten ja miksi), robotin ja oheislaittei-

den hallintalaitteiden toiminta, kaikkien järjestelmään kuuluvien laitteiden hallinta (liikkeet koordinaatioissa, oheislaitteiden ohjaus, lähtöjen ja tulojen käyttö jne.), robotin suorituskyvyn tunteminen, ohjelmointikielen ja -tekniikan omaksuminen, järjestelmän vikadiagnostiikan käyttö ja robotin ohjelmien varmuuskopioiden ja päivitysten tallentaminen. /3, s. 108/

Asiantuntijan kouluttaminen on huomattavasti pidempi prosessi kuin käyttäjän tai ohjelmoijan koulutus ja asiantuntijalla tulee olla todellista mielenkiintoa ja omistautumista asiaan. Tämän henkilön tehtäviin kuuluu robottisolun toimintojen ja käytön optimointi, jotta saataisiin mahdollisimman joustava ja helppokäyttöinen järjestelmä valmistettavien tuotteiden kannalta. Tärkeimpiin ominaisuuksiin asiantuntijalle kuuluu kokonaisvaltainen ja syvä tuntemus robotista ja sen oheislaitteista. Koulutukseen kuuluvia asioita ovat robotin ohjausyksikön ja servomootoreiden toiminta, logiikoiden ohjaus, vaadittavien asetusten tekeminen ohjausjärjestelmään, järjestelmän liitynnät, sisäisten ja ulkoisten signaalien käsittely ja hallinta ja tuotteen valmistettavuus robottia käyttäen (muodot, materiaalit jne.). /3, s. 108/

4.6 Robotisoinnin uhat ja mahdollisuudet

Robotisointi voi tuoda merkittäviä etuja yrityksille, mutta siinä on myös omat riskinsä. Ensimmäisen robottijärjestelmä-projektin onnistuminen monesti kannustaa yritystä lisäämään robotteja tuotantoonsa, mutta jos järjestelmä ei vastaakaan odotuksia, saatetaan robotit hylätä kokonaan.

Suurimpia etuja robotisoinnissa on tuotannossa muodostuvien kulujen pienentyminen, tuotteiden laadun paraneminen, työtapaturmien vähentyminen ja yrityksen imagon ja kilpailukyvyn kasvaminen. Onnistuneet automatisointiprojektit mahdollistavat yrityksen kasvamisen ja kilpailukyvyn ylläpitämisen nykypäivän tiukoilla markkinoilla.

Suurimmat uhat robottisoinnissa muodostuvat yleensä järjestelmän käytön alkuvaiheessa. Jos ensimmäinen robottijärjestelmä ei vastaa odotuksia tai se vaatii jatkuvasti säätöä ja huoltoa, josta muodostuu käyttöseisokkeja ja kustannuksia, yri-

tyksessä saatetaan saada huono ensivaikutelma roboteista ja pahimmassa tapauksessa robotit hylätään kokonaan. Yleensä nämä asiat johtuvat heikosta suunnittelusta, vajaasta koulutuksesta ja yrityksen sisäisestä tiedon ja taidon puutteesta robottijärjestelmistä. Tämän kaltaiset ongelmat voidaan välttää valitsemalla projektiin oikeat henkilöt (mielenkiintoa ja tietotaitoa robotteihin omaavia), tekemällä kunnolliset esiselvitykset, suunnitelmat ja kouluttamalla henkilökuntaa robottia varten.

5 ROBOTTISOLUN HANKINTA JA KANNATTAVUUS

Robottijärjestelmän hankinta ja vastuunjako voidaan jakaa kolmeen eri vaihtoehtoon. Näitä vaihtoehtoja ovat kokonaistoimitus avaimet käteen-periaatteella, laitteiden hankinta itse ja asennutus muilla ja laitteiden hankkiminen ja asentaminen itse. Yleensä valittava hankinta vaihtoehto riippuu yrityksen omasta osaamisesta ja tietotaidosta robottijärjestelmiin liittyen.

5.1 Avaimet käteen-periaate

Kokonaistoimituksessa robottijärjestelmä tilataan integraattorilta, joka suunnittelee järjestelmän, hankkii siihen liittyvät robotin ja oheislaitteet, hoitaa robottijärjestelmän asennuksen ja käyttöönoton ja myös robotin ohjelmoinnin. Suurin osa integraattoreista tarjoaa myös koulutuksia, tukea ja huolto- ja varaosapalveluita. Integraattorin valintaan kannattaa käyttää aikaa, tehdä taustatutkimusta minkä tyyppisiin robottijärjestelmiin he ovat erikoistuneet ja minkälaisia järjestelmiä he ovat aikaisemmin toimittaneet. Kokonaistoimitus avaimet käteen-periaatteella on yleensä paras valinta ensimmäistä robottijärjestelmää hankittaessa. /3, s. 101/

Avaimet käteen-periaatteella vastuunjako toimittajan ja yrityksen välillä on selkeä ja toimitukseen liittyvät tekniset ehdot määritellään toimitussopimuksessa. Hankkeen epäonnistumisesta muodostuvat riskit jäävät vähäiseksi robottia hankkivan yrityksen kannalta. Robotti saadaan yleensä nopeasti tuotantokäyttöön, mutta järjestelmän kehittäminen yrityksen omasta toimesta voi olla hankalaa tai mahdotonta puutteellisen osaamisen takia. Kokonaistoimituksessa voi myös muodostua ongelmaksi toimittajan puutteellinen tietämys yrityksen prosessitekniikasta. Tästä johtuen on suositeltavaa, että tilaaja ja toimittaja tekevät tiivistä yhteistyötä robottijärjestelmän suunnittelussa parhaan mahdollisen lopputuloksen takaamiseksi. Tämä on yleensä kallein, mutta myös varmin tapa hankkia robottijärjestelmä. /3, s. 101/

5.2 Laitteiden itse hankinta ja muilla asennutus

Laitteiden itse hankinta ja asennuttaminen ulkopuolisella taholla (esimerkiksi laitteiston valmistaja) on yleinen valinta, kun ostetaan käytettyjä laitteita. Tätä hankintamenetelmää käyttäessä yrityksellä tulee olla tietoa ja osaamista robottijärjestelmistä, jotta valittu robotti ja oheislaitteet soveltuvat suunniteltuihin tehtäviin. Useimmiten kokonaistulokset tällä menetelmällä ovat hyviä, sillä edullisesti hankittu laitteisto ja ammattilaisten tekemä asennus ja käyttöönotto ovat kustannustehokas ratkaisu. /3/

5.3 Laitteiden itse hankinta ja asentaminen

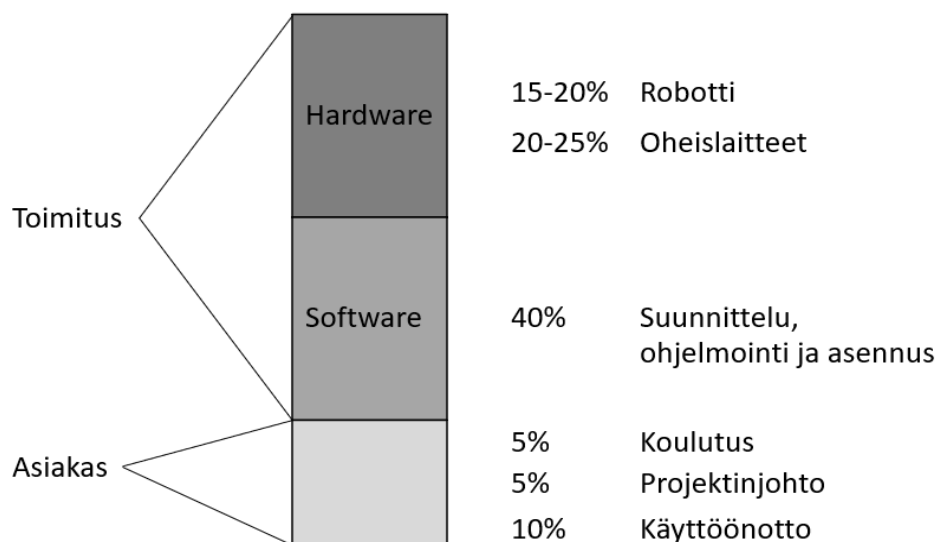
Robottijärjestelmän hankinta ja asentaminen yrityksen omin voimin vaatii paljon osaamista robotisoinnin alalta. Järjestelmän hankinta tällä tavalla voi olla suuri riski, mutta se myös kasvattaa yrityksen sisäistä osaamista tuotannon automatisoisesta. Järkevällä aikataulutuksella ja realistisella budjetoinnilla, tällä menetelmällä voidaan päästä järjestelmän käytön ja jatkokehityksen kannalta parhaaseen lopputulokseen. /3/

5.4 Kannattavuus

Ennen robottijärjestelmän hankintaa täytyy tehdä perusteelliset investointilaskelmat ihan samalla tavalla, kuin muitakin investointeja tehtäessä. Kustannuslaskelmia tehtäessä kustannukset on syytä jakaa robotin investointikustannuksiin ja robotin käyttökustannuksiin. Investointikustannuksiin kuuluu kaikki ne kustannukset, jotka muodostuvat ennen kuin robottijärjestelmä saadaan tuotantokäyttöön. Näitä kustannuksia ovat suunnittelusta muodostuvat kustannukset, laitteiston hankintakustannukset, asennuksesta ja käyttöönotosta aiheutuvat kustannukset, oheislaitteiden ja työvälineiden kustannukset sekä muut kustannukset esimerkiksi mahdollisista tehtaan layout muutoksista aiheutuvat kustannukset. /3/

Robottijärjestelmästä koostuvia käyttökustannuksia ovat välittömät- ja välilliset palkkakustannukset, energia-, aine- ja tarvikekustannuksia, robotin käyttöön vaadittavista koulutuksista aiheutuvat kustannukset ja robotin huollosta ja kunnossapidosta aiheutuvat kustannukset. Välittömät palkkakustannukset muodostuvat

pääasiassa robotin käyttäjien palkoista ja välilliset palkkakustannukset taas muodostuvat ohjelmoijien, työnjohdon ja muista järjestelmän käyttöä tukevien henkilöiden palkoista. Kuvassa 18 nähdään robottijärjestelmä-projektin kustannusrakenne. /3/

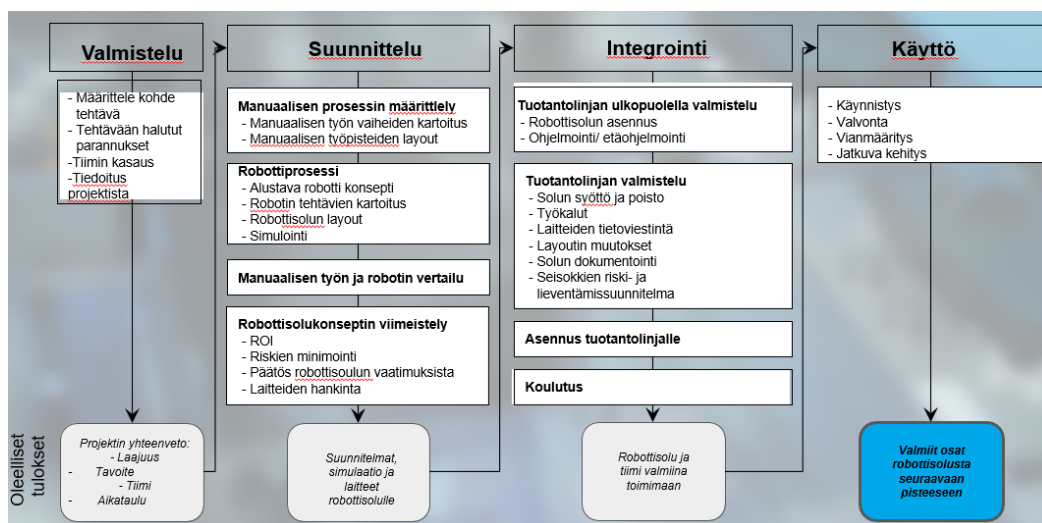


Kuva 18. Robottijärjestelmä-projektin kustannusrakenne.

Robottijärjestelmää käyttämällä saavutettavat säästöt voidaan jakaa seuraavalla tavalla: materiaalikustannusten säästöt, keskeneräisen työn vähentyminen, susikappaleiden ja niistä aiheutuvien korjauskulujen vähentyminen, laitteiston käyttöaste paranee, tilan tarpeen vähentyminen ja valmisvaraston pienentyminen. Robottijärjestelmän investointilaskelmat voidaan suorittaa perinteisellä takaisinmaksuajan määrittämisellä. Takaisinmaksuajan menetelmällä määritetään se aika, kuinka kauan hankitun järjestelmän säästöjen ja kasvaneiden tuottojen avulla laite maksaa itsensä takaisin. Yleisimmin takaisinmaksuaika roboteille teollisuudessa on 1.5–3 vuotta. /3/

6 MATERIAALIN JATKOHITSAUS

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä ohje robottijärjestelmän suunnittelusta ja hankinnasta ja yksi työn antajan automatisoitavista tehtävistä on materiaalin jatkohitsaus. Tässä esitellään esimerkkinä, kuinka voitaisiin edetä materiaalin jatkohitsauksen automatisointiprojektissa. Kuvassa 19 esitellään automatisointiprojektin vaiheet, jonka mukaan esimerkki etenee.



Kuva 19. Automatisointiprojektin vaiheet.

6.1 Valmistelu

Automatisointiprojekti lähtee liikkeelle valmistelulla. Ensimmäisen pitää määrittellä tehtävä työ, joka tässä tapauksessa on materiaalin jatkohitsaus. Robotille suunniteltu työ siis olisi hitsata noin 12 metrin pituisia neliöputkia yhteen. Tässä vaiheessa on myös hyvä miettiä, olisiko robotilla mahdollista tehdä joitain muitakin tehtäviä jatkohitsauksen lisäksi. Seuraavaksi täytyy miettiä, minkälaisiin parannuksiin robotin hankinnalla tähdätään. Tässä tapauksessa robotilla saavutettuja parannuksia voisi olla hitsin laadun parantuminen ja tasaantuminen, lyhyempi hitsausaika ja se, että jatkohitsaus tapahtuisi aina samassa työasemassa. Kun parannukset ovat selvillä, pitää miettiä tavoite, koska robotti olisi tarkoituksena saada käyttöön ja tehdä aikataulusuunnitelmat projektille. Tämän jälkeen vuorossa on projektitiimin kasaus. Tiimiin tarvitaan henkilöitä, joilla on tietoa roboteista, pro-

jektin johtamisesta ja valmistusprosessista. Tiimin jäsenille jaetaan roolit ja vastualueet robotinhankintaprojektissa. Lean Robotics-kirjassa on hyvät esimerkit rooleista ja vastuualueista. Kun tiimi on kasassa, kannattaa keskustella tiimin kanssa, miksi robotti hankitaan, mitkä ovat tavoitteet, käydä läpi projektin aikataulu ja suorittaa roolinjako ja selittää niiden vastualueet.

6.2 Suunnittelu

Suunnitteluvaihe alkaa manuaalisen prosessin määrittelyllä. Määrittelyssä selvitetään, kuka tarvitsee solusta tuotteita, minkälaisella tahdilla, vaadittavat toleranssit, mitä kappaleita solussa käsitellään ja miten, mitä työvaiheita vaaditaan, kauanko työ kestää, työstä muodostuvat kustannukset ja kuinka kappaleet tuodaan soluun. Kun nämä ovat selvitetty, voidaan alkaa suunnitella robottisolun konseptia.

Robottisolun konseptin tekeminen aloitetaan määrittelemällä soluun tarvittavat osat (robotti, työkalut, anturointi, turvalaitteet ja ohjelmistot). Seuraavaksi suunnitellaan miten, putket tuodaan soluun, poistetaan solusta ja kuinka robotti suoritetaan hitsauksen. Kun solun osat ja robotin toiminta on määritelty, voidaan tehdä karkea layout suunnitelma.

Oma idea solun toiminnasta ja layoutista on seuraava: Robotti on kahden kuljettimen välissä, joilla putket liikkuvat. Robotin käyttäjä lataa putket hitsausjigiin, joka on kiinnitetty radan suuntaiseen robotin ja kuljettimen välissä olevaan tasoon. Taso liikkuu robottiin päin ja robotti aloittaa hitsauksen. Robotin toisella puolella on samanlainen taso kuljettimen ja robotin välissä ja tämä asema voidaan purkaa ja ladata uudelleen, kun robotti hitsaa toisella puolella.

Kun solun konsepti on kasassa, projektiin on syytä ottaa mukaan integraattori. Aluksi kannattaa olla yhteydessä useampaan integraattoriin ja katsoa minkälaisia toteutuksia heillä olisi jatkohitsaus soluun. Integraattorit kannattaa pyytää käymään paikan päällä katsomassa, miten prosessi tehdään, esitellä heille manuaalisen prosessin määrittelyt ja solun konsepti. Näin he saavat paremman kuvan työstä ja vaadittavat lähtötiedot solun suunnitteluun. Kun integraattoreilta alkaa tulla tarjouksia souluista, täytyy niitä vertailla keskenään ja valita paras vaihtoehto. Va-

lintaan vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi solun hinta, solusta aiheutuvat muutokset tuotantotilan layouttiin, solun toteutus ja soveltuvuus käyttötarkoitukseen. Kun paras vaihtoehto on löytynyt, kannattaa vielä miettiä mahdollisia parannuksia integraattorin kanssa. Kun robottisolu on saanut viimeisen muotonsa, on aika tehdä kannattavuuslaskelmia, joiden pohjalta päätetään, kannattaako robottia hankkia. Jos solun hankinta nähdään tarpeelliseksi, siirrytään integrointi vaiheeseen.

6.3 Integrointi

Integrointivaiheessa tehdään robottisolun asennus ja ohjelmointi sekä valmistellaan henkilöstö robotin käyttöä varten. Suuren osan tästä vaiheesta suorittaa integraattori, mutta on myös asioita, jotka yrityksen täytyy hoitaa. Integrointivaiheen lopuksi robottisolu ja sen käyttäjät ovat valmiina toimimaan.

Integraattorin tehtäviin kuuluu robottisolun asennus, ohjelmointi ja testaus. Ennen solun asennusta täytyy tehdä vaadittavat esivalmistelut, kuten mahdolliset tuotantolinjan layout-muutokset ja suunnitella, miten tuotanto pidetään käynnissä solun asennuksen aikana. Viimeistään asennuksen alkaessa olisi hyvä aloittaa peruskoulutukset robotin käyttäjille, jotta solu saataisiin heti käyttöön, kun se on valmis. Robotin käyttäjiä kannattaa kouluttaa useita sen takia, että ei muodostuisi tilanteita, joissa ei ole henkilöitä saatavilla kuka osaisi käyttää robottia. Monet integraattorit tarjoavat erilaisia koulutus palveluita, mutta niitä voi myös ostaa robotin valmistajilta ja yrityksiltä, jotka keskittyvät robotin käyttäjäkoulutuksiin.

Robottisolusta täytyy myös tehdä dokumentti, joka sisältää järjestelmän komponentit ja kuvauksen, turvallisuussäännöt, perustiedot solun käyttöön (käynnistys, käyttö, sammutus), virhetilanteiden välttämisen ja niiden ratkaisemisen ja perushuolto-ohjeet. Dokumentin voi saada integraattorilta, mutta sen tekemiseen kannattaa ainakin osallistua itse, jotta saadaan vastaukset oikeisiin kysymyksiin.

Seisokkien riskianalyysi ja vähentämissuunnitelma on projekti tiimin tehtäviä. Analyysiin pitää miettiä mitkä asiat voivat aiheuttaa seisokkeja, kuinka todennäköisesti ja useasti näitä tapahtuu ja minkälaisia vaikutuksia seisokeilla on muuhun tuotantoon. Seisokkien vähentämisen kannalta pitää miettiä esimerkiksi, mitä va-

raosia tulisi olla koko ajan varastossa (kaasusuuttimet, virtasuuttimet, kustomoituja osia, joilla on pitkät toimitus ajat), suunnitelma siitä, miten jatkohitsaus tehdään, jos robotti on pois käytöstä ja ennalta ehkäisevä robotin huoltosuunnitelma.

6.4 Käyttö

Kun robottisolu on asennettu ja koulutukset suoritettu, on se aika ottaa käyttöön. Ennen käyttöönottoa on tärkeää selvittää, onko robotin käyttäjillä kysymyksiä robotin käyttöön tai toimintaan liittyen. Kun asiat ovat selvillä, voidaan vihdoinkin ottaa robottisolu tuotantokäyttöön.

Varsinkin käytön alkuvaiheessa tulee seurata tarkasti solun suorituskykyä ja pitää kirjaa ongelmatilanteista. Kun solun suorituskyvystä on saatu tarpeeksi tietoa, tulee sitä verrata suunnitteluvaiheessa asetettuihin vaatimuksiin. Näiden vertailujen avulla voidaan miettiä solulle tehtävää jatkokehitystä.

Ongelmatilanteiden kirjanpito auttaa ongelmien ratkaisussa ja vähentää seisokkiaikoja. Ongelmatilanteista tulee kirjata ylös, mikä ongelma oli ja mitkä olivat sen oireet, koska se huomattiin ja milloin korjattiin, kuka huomasi, mistä ongelma johtui ja miten se korjattiin. Näiden tietojen avulla voidaan samat ongelmatilanteet korjata nopeasti ja mahdollisesti poistaa tämän kaltaiset ongelmat kokonaan.

7 YHTEENVETO

Robottien hankinta parantaa yrityksen imagoa ja voi kasvattaa merkittävästi kilpailukykyä nykypäivän tiukoilla markkinoilla. Robottijärjestelmän hankinta voi olla kallis investointi yritykselle, mutta vahvat perusteet, huolellinen suunnittelu ja tarkat laskelmat takaavat investoinnin kannattavuuden. Onnistuneet robotisointiprojektit ja positiiviset kokemukset kannustavat lisäämään automaatiota yrityksissä.

Parhaan lopputuloksen takaamiseksi robotin hankintaprojektissa täytyy tehdä alkuilanteen määrittelyt, selvittää tavoitteet, tehdä aikataulu ja robottijärjestelmän suunnitelmat, kannattavuuslaskelmat, huolellinen asennus ja ohjelmointi, sekä kouluttaa tarpeeksi henkilökuntaa. Vaikka järjestelmä hankittaisiin kokonaisuudessaan integraattorilta, tulisi yrityksen olla tiiviisti mukana suunnittelussa ja asennuksessa, jotta järjestelmä tunnettaisiin paremmin ja sen jatkokehitys olisi mahdollista. Tämän opinnäytetyön pohjalta saadaan peruskäsitys robottijärjestelmistä ja niiden hankinnasta, mutta jokaisen järjestelmän hankinnan kohdalla tulee miettiä, onko mahdollisesti muitakin asioita, mitä pitää ottaa huomioon.

LÄHTEET

/1/ About us. NORDEC. Viitattu 12.5.2020. <https://nordec.com/about-us/#toggle-id-6>

/2/ Ruukki Building Systems and Normek to merge: the new company will be known as NORDEC. NORDEC news. Viitattu 12.5.2020. <https://nordec.com/2020/05/ruukki-building-systems-and-normek-to-merge-the-new-company-will-be-known-as-nordec/>

/3/ Kuivanen, R 1999. Robotiikka. Vantaa. Talentum Oyj.

/4/ SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. 3. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2013. 90 s.

/5/ What are the main types of robots. RobotWorx. Viitattu 25.3.2020. <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots>

/6/ The evolution of robot welding. Robotics online marketing team. Viitattu 30.3.2020. <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/The-Evolution-of-Robotic-Welding/33>

/7/ Top 10 advantages of robotic welding. Scott automation. Viitattu 30.3.2020. <https://www.scottautomation.com/news/articles/top-10-advantages-of-robotic-welding/>

/8/ How does a welding robot work? Fairlawn tool. Viitattu 30.3.2020. <https://www.fairlawntool.com/blog/complete-guide-robotic-welding/>

/9/ Robottihitsaus. IONIX. Viitattu 31.3.2020 <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/robottihitsaus/>

/10/ Choosing the right robotic welding for your application. Genesis systems. Viitattu 31.3.2020. <https://www.genesis-systems.com/blog/robotic-mig-vs-tig-welding-choosing-right-robotic-welding-application>

/11/ TIG-hitsaus. Kemppi. Viitattu 31.3.2020. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/tighitsaus/>

/12/ Spot Welding Robots. RobotWorx. Viitattu 31.3.2020. <https://www.robots.com/applications/spot-welding>

/13/ Improve Robotic Welding Applications with Seam Finding and Tracking. Robotiq. Viitattu 1.4.2020. <https://blog.robotiq.com/bid/66800/Improve-Robotic-Welding-Applications-with-Seam-Finding-and-Tracking>

- /14/ Knowing when sensors make sense. Yaskawa. Viitattu 1.4.2020.
<https://www.motoman.com/en-us/about/blog/knowning-when-welding-sensors-make-sense>
- /15/ Selecting the right seam tracking solution. BANCROFT. Viitattu 1.4.2020.
<https://bancrofteng.com/selecting-right-seam-tracking-solution/>
- /16/ Robotics: Joint sensing technologies. Lincoln Electric. Viitattu 1.4.2020
<https://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/pages/intelligent-robotic-detail.aspx>
- /17/ Maw, I. 2018. How to Pick, Pitch and Purchase Your First Industrial Robot. Viitattu 2.4.2020.
<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/16956/How-to-Pick-Pitch-and-Purchase-Your-First-Industrial-Robot.aspx>
- /18/ Picking, Purchasing, and Programming Your First Industrial Robot. Machine design. Viitattu 6.4.2020.
<https://www.machinedesign.com/markets/robotics/article/21120268/picking-purchasing-and-programming-your-first-industrial-robot>
- /19/ SFS-EN ISO 10218-2:2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 2017. s 155.
- /20/ Safety Options for Robotic Systems. RobotWorx. Viitattu 7.4.2020.
<https://www.robots.com/articles/safety-options-for-robotic-systems>
- /21/ Robotic Cell Layout Considerations. Bastian Solutions. Viitattu 8.4.2020.
<https://www.bastiansolutions.com/blog/robotic-cell-layout-considerations2/>